EL MENSAJERO DE LA LUNA

BOLETÍN DE LA SOCIEDAD LUNAR ARGENTINA N° 38

"El mensajero de la Luna" es el Boletín de la Sociedad Lunar Argentina. Es un medio de comunicación entre Miembros, un medio para difundir nuestras actividades y un medio para promover y divulgar la observación lunar y los programas científicos relacionados.

Auspician

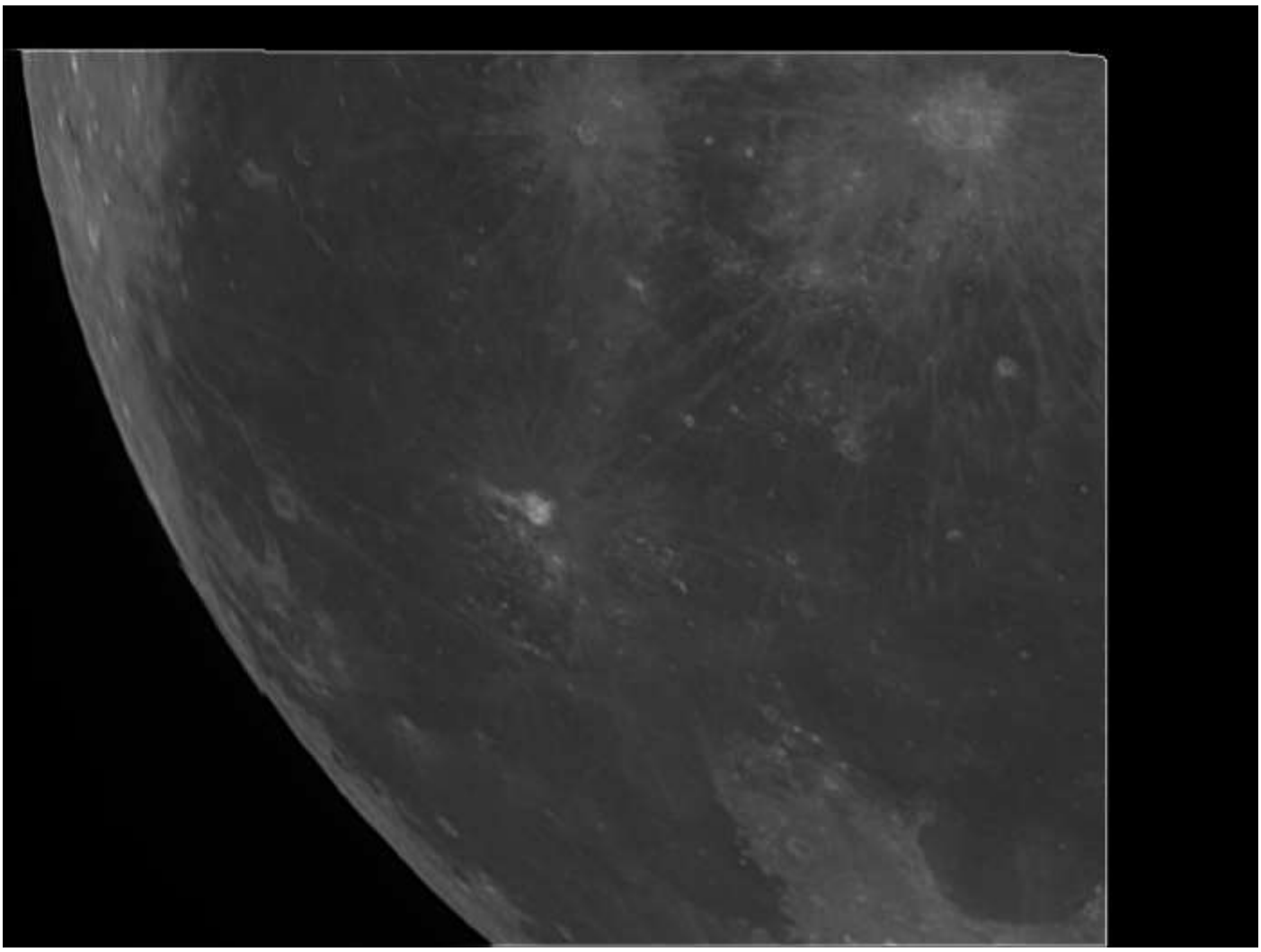
ESPECIAL

MISTERIOSO

REINER

GAMMA

IMAGEN 1



Reiner Gamma es, sin duda, una de los accidentes lunares más fascinantes. Es fácilmente visible con telescopios pequeños, pero incluso con un gran aumento se confunde fácilmente con un cráter con paredes brillantes y un patrón de eyección brillante, excepto que no proyecta sombras ni presenta relieve, como si fuera un cráter pintado en la superficie. “como si visitantes alienígenas tomaran pintura en aerosol y dejaran un graffiti: “Zord estuvo aquí” (Foster, página 82). El misterio de la naturaleza y el origen Reiner Gamma fue creciendo con los siglos de observación. Podemos decir que cuanto más conocemos sobre las características de Reiner Gamma, más incierto es su origen. Antes de saber de la existencia de los remolinos lunares, en mis

primeras observaciones, pensé que era un cráter más. Las partes brillantes tienen una geometría aparentemente similar a un cráter con rayos brillantes, que no es tal con un análisis más profundo y comparándolos con otros remolinos. Para los primeros observadores lunares, como Riccioli (a quién más bien deberíamos llamar cartógrafo lunar) era el cráter Galileus. Fue Mädler quién se percató de que Reiner Gamma era un albedo feature y no un cráter, por lo que traslado el homenaje al cercano cráter que ahora lleva su nombre. Debemos el descubrimiento de la Luna moderna, la Luna como un cuerpo rocoso similar a nuestro planeta, a Galileo Galilei, y si Reiner Gamma con una dimensión de cerca de 70 kilómetros era un homenaje ya pequeño, los 15 kilómetros del cráter Galilaei ya es casi ridículo. El término “albedo feature” implica la falta de correlación del brillo con características topográficas de la zona, pero es un significante vacío si no sabemos el origen de esas zonas brillantes.

Hoy sabemos que Reiner Gamma es un remolino lunar: “Brillantes u oscuras, todos los accidentes lunares se pueden interpretar en términos de sus asociaciones geológicas, excepto algunos remolinos. Se trata de marcas brillantes e irregulares que aparecen sólo en unos pocos lugares y parecen no tener relación con su entorno. Reiner Gamma, ubicado en el oeste de Procellarum, es el único remolino en el lado de la Luna que mira hacia la Tierra. Aparece como una mancha ovalada de material brillante con una cola discontinua que apunta hacia las colinas Marius. Con iluminación solar intensa, también son visibles pequeñas manchas hacia el suroeste” (Wood, página 171).

IMAGEN 3

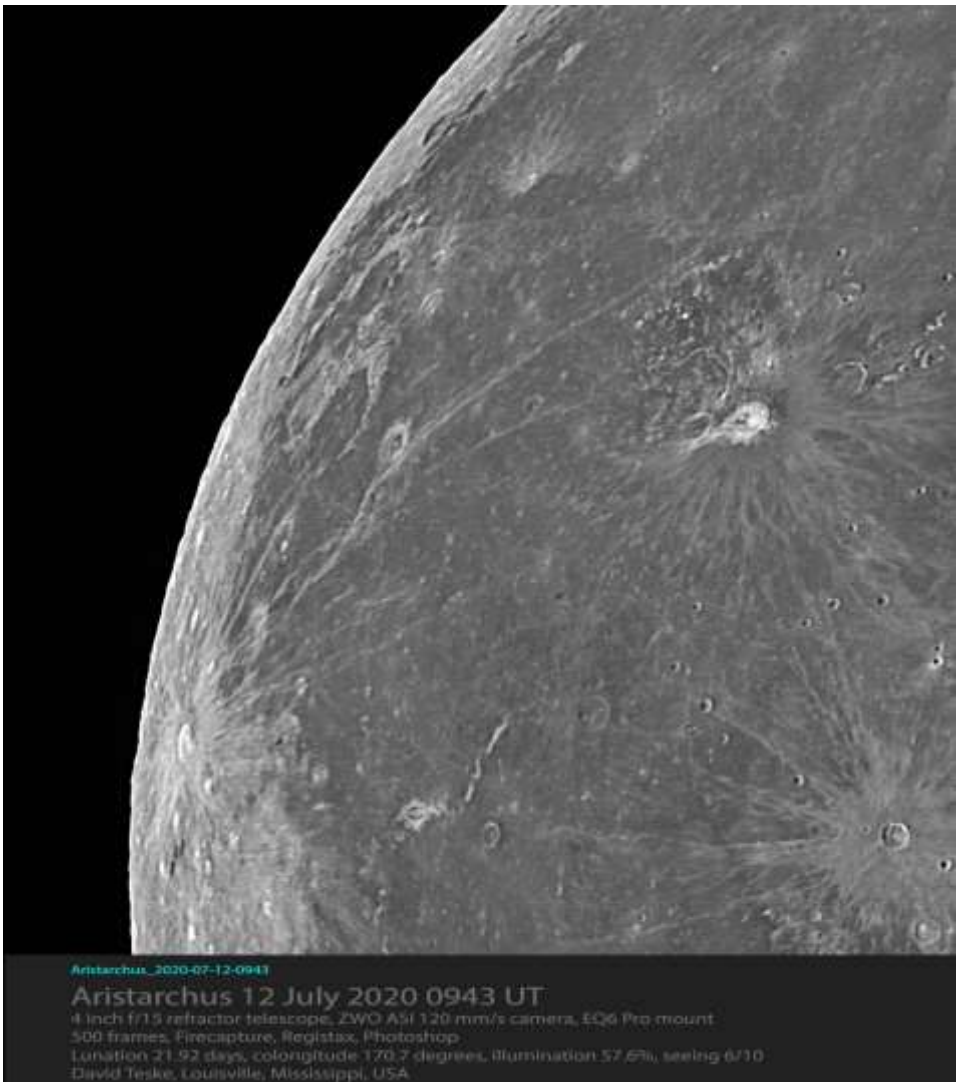
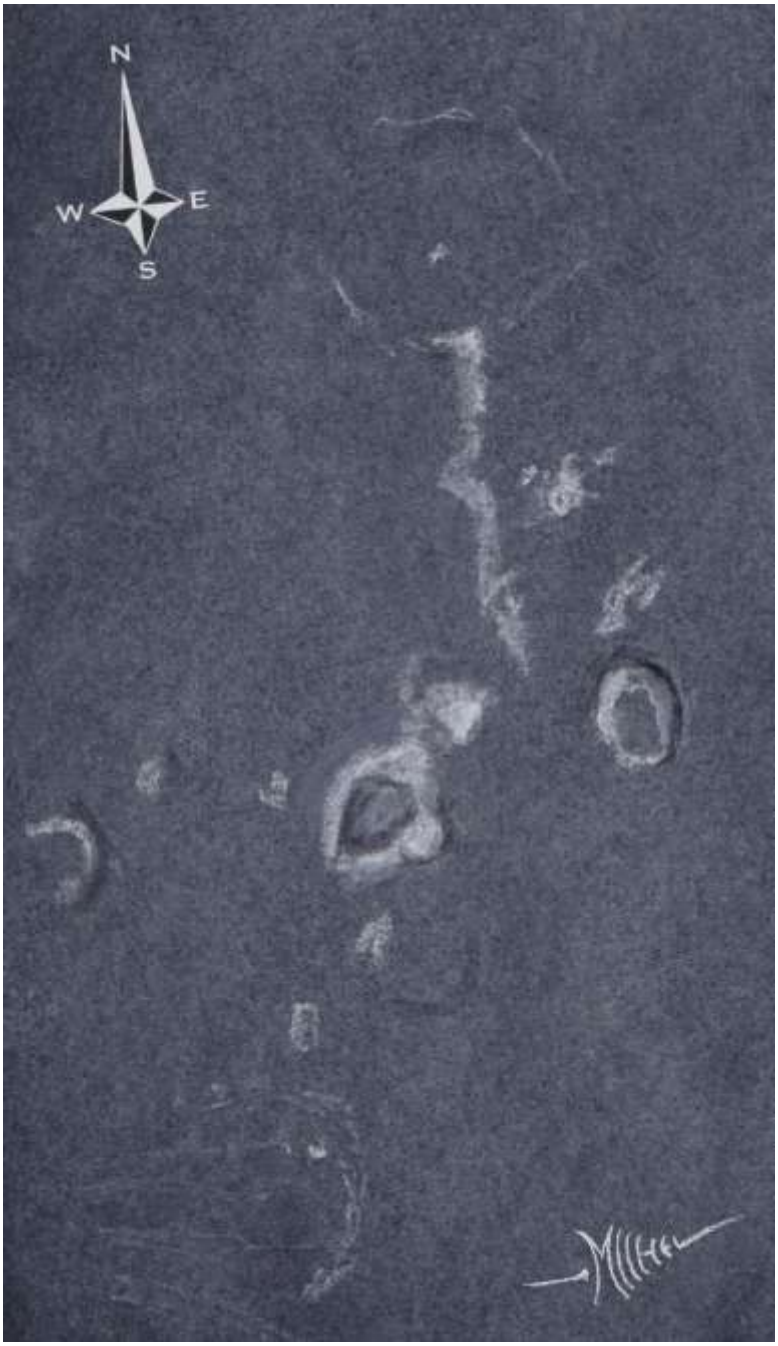


IMAGEN 4:



Garfinkle lo define como “un rasgo enigmático blanquecino, plano, con forma de renacuajo y de muy alto albedo (…) La porción principal de Reiner Gamma tiene forma ovalada con dos áreas oscuras oblongas separadas por una delgada área blanca. Una larga y estrecha cinta rota de material corre hacia el noreste y termina entre las cúpulas del sur en el área de “Marius Hills”. Para Foster (páginas 83/86) “La forma del depósito sugiere las cortinas aurorales que se pueden ver en los cielos de las regiones polares de la Tierra. Reiner Gamma puede ser el resultado de una actividad

similar por corrientes energéticas del sol u otro cuerpo cargado (…) La característica central de Reiner Gamma tiene un parecido con la formación dipolar creada por limaduras de hierro en una superficie con una barra magnética en la parte inferior. (…) Tiene una dimensión total de unos 70 km. La característica tiene un albedo más alto que la superficie relativamente oscura del marre, con una apariencia difusa y una distintiva forma ovalada concéntrica y arremolinada. Las características de albedo relacionadas continúan a lo largo de la superficie hacia el este y suroeste, formando patrones en forma de bucle sobre el mare".

IMAGEN 5:

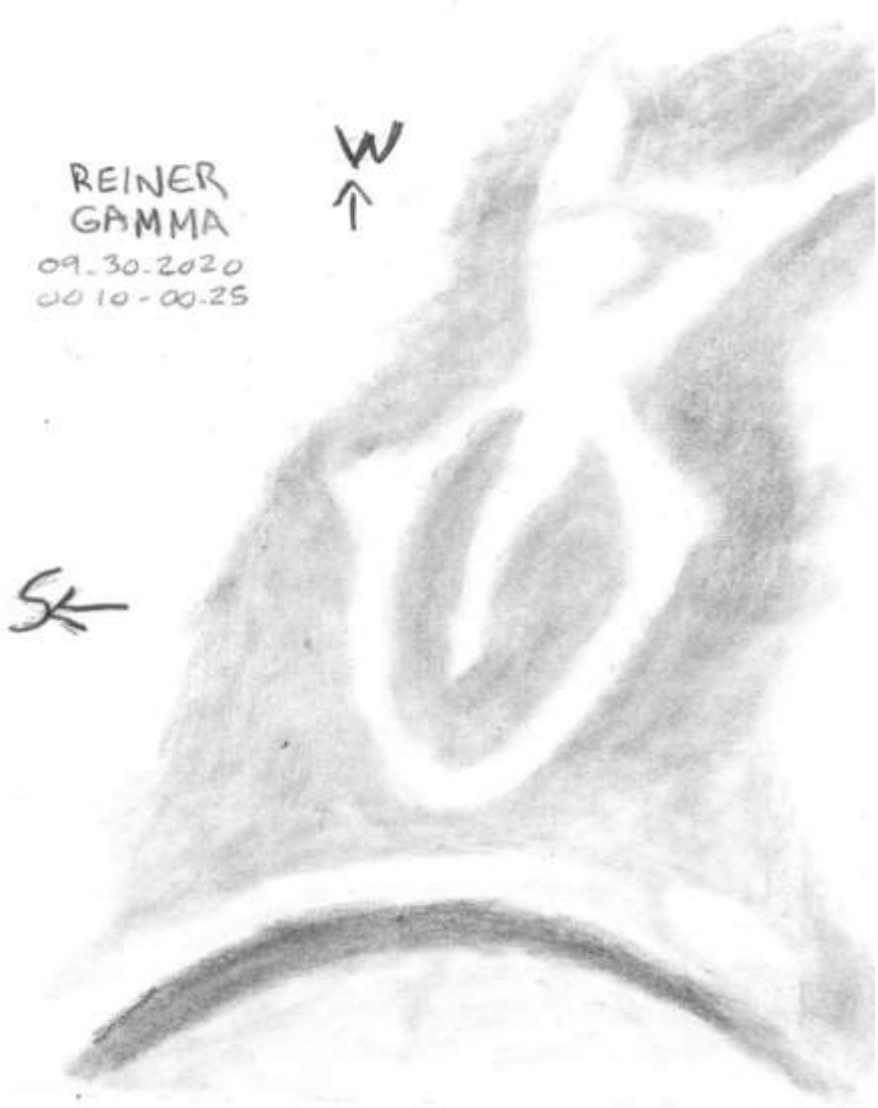


IMAGEN 6:

Para Grego (página 169) es “una salpicadura ovalada alargada, cuyo núcleo se extiende 60 km de este a oeste. Un lóbulo de material brillante procede de su borde noreste en una línea prominente, aunque inconexa, a unos 150 km al norte hasta el borde de las colinas Marius. A diferencia de muchos sistemas de rayos, Reiner Gamma es prominente incluso cuando está iluminado por un Sol bajo”. Las imágenes que vemos a continuación lo muestran a Reiner Gamma muy cerca del terminador e igualmente muy brillante.

IMAGEN 7

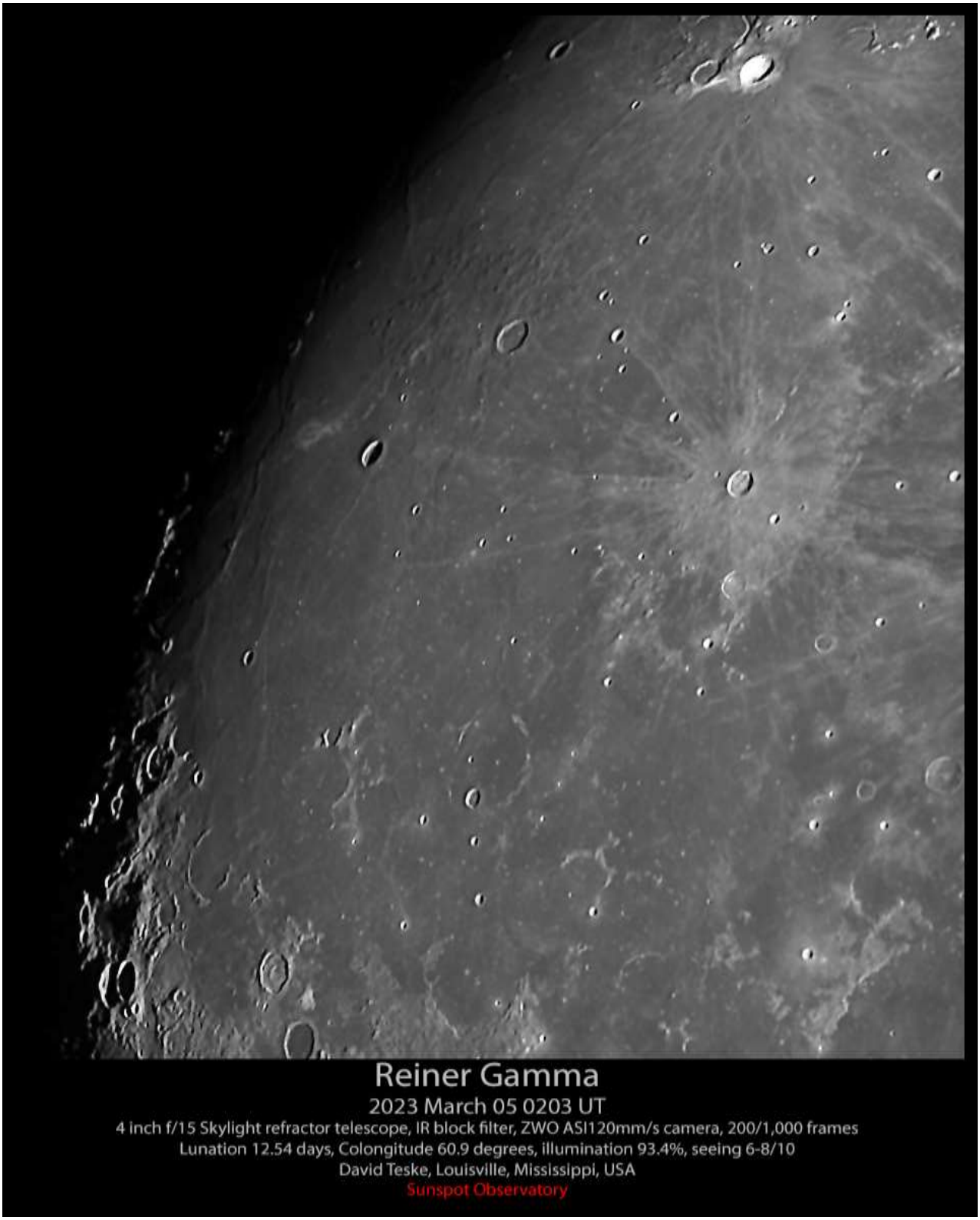
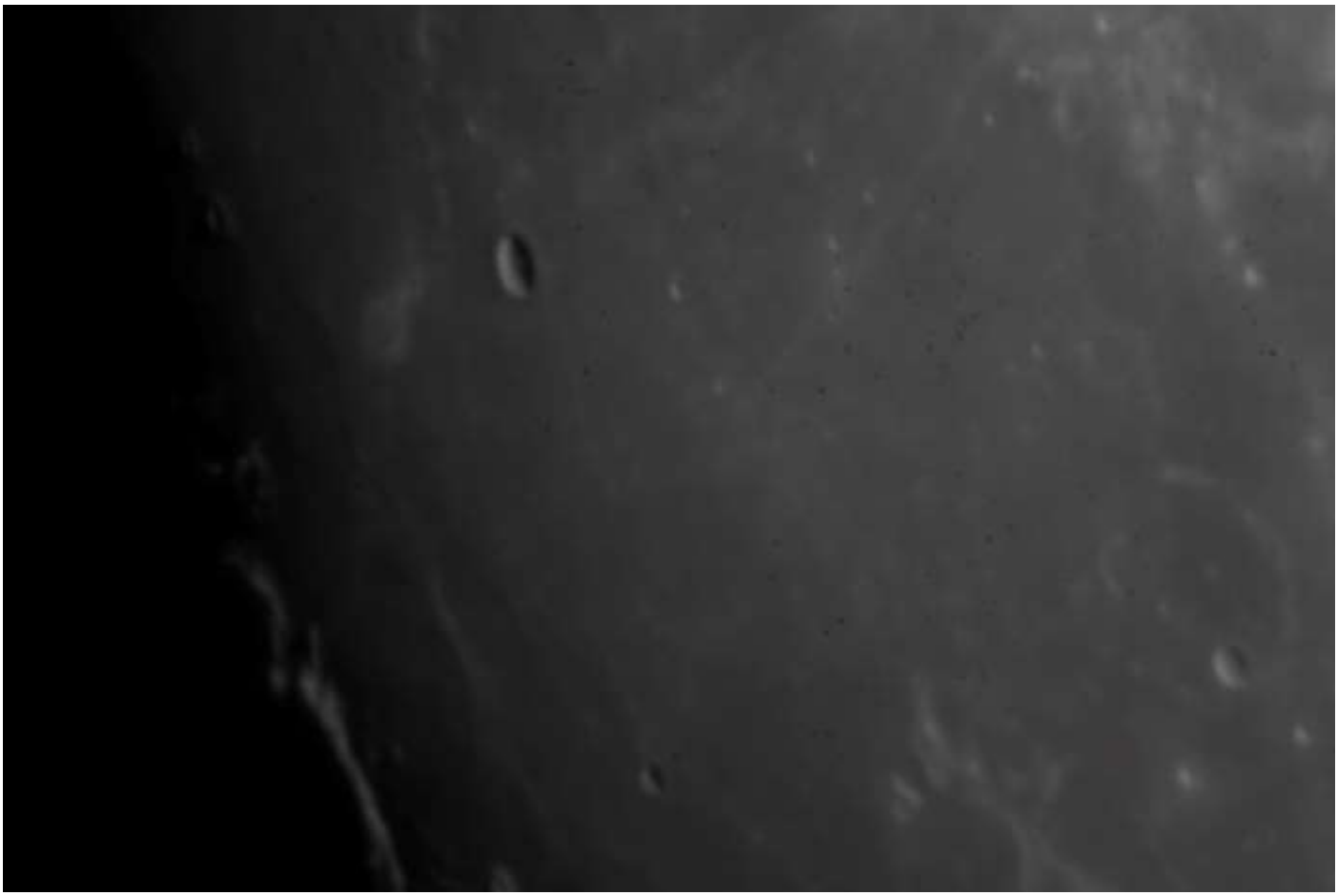

Reiner Gamma
2023 March 05 0203 UT
4 inch f/15 Skylight refractor telescope, IR block filter, ZWO ASI120mm/s camera, 200/1,000 frames
Lunation 12.54 days, Colongitude 60.9 degrees, illumination 93.4%, seeing 6-8/10
David Teske, Louisville, Mississippi, USA
Sunspot Observatory

IMAGEN 8:



Estas marcas brillantes de formas retorcidas y sin relación aparente con la topografía del lugar existen en otros cuerpos del sistema solar y también, obviamente, en la propia Luna. Las imágenes de la misión Lunar Orbiter 2 mostraron en 1966 un remolino en Mare Ingenii y los primeros hombres en la Luna, los tripulantes de Apolo 8, descubrieron otro en Mare Marginis, ambos parcialmente en la cara oculta y solo parcialmente observables desde Tierra en momentos de libración favorable. Sin embargo, los remolinos en la Luna presentan una gran diversidad entre sí.

Todos los esfuerzos por encontrar indicios de relieve en la superficie ocupada por las marcas brillantes del remolino más prominente, Reiner Gamma fueron en vano: “Durante décadas, los observadores telescópicos buscaron infructuosamente alguna topografía sutil que indicara que Reiner Gamma era simplemente el patrón peculiar de un cráter de impacto. Pero parece ser sólo un chapoteo en la superficie del mare” (Wood, página 171). Tampoco las imágenes obtenidas desde órbita lunar mostraron signos de relieve relacionados con el albedo que observamos como el patrón que forma Reiner

Gamma: “Se encuentran remolinos del mismo tipo en otras partes del extremo oriental y del lado opuesto; generalmente no muestran relación con la topografía local y muchos representan sólo alteraciones superficiales del regolito superior” (Hood y Williams, página 99). No sería el caso de los remolinos en Mari Ingenii, según un estudio reciente: “Nuestros resultados respaldan estudios previos que sugieren que las variaciones en la composición y compactación de la porción ópticamente activa (los primeros micro a milímetros) sí juegan un papel clave en la patrones de albedo en forma de remolino, además de las interacciones de la superficie con el campo magnético local. La topografía puede afectar la segregación composicional y de tamaño de los materiales y mantenerlos durante escalas de tiempo geológicamente significativas. La correlación topográfica observada puede ser clave para resolver e interpretar estas propiedades observacionales y comprender las contribuciones relativas de estos procesos de formación de remolinos” (Domingue et al., página 2).

IMAGEN 9:

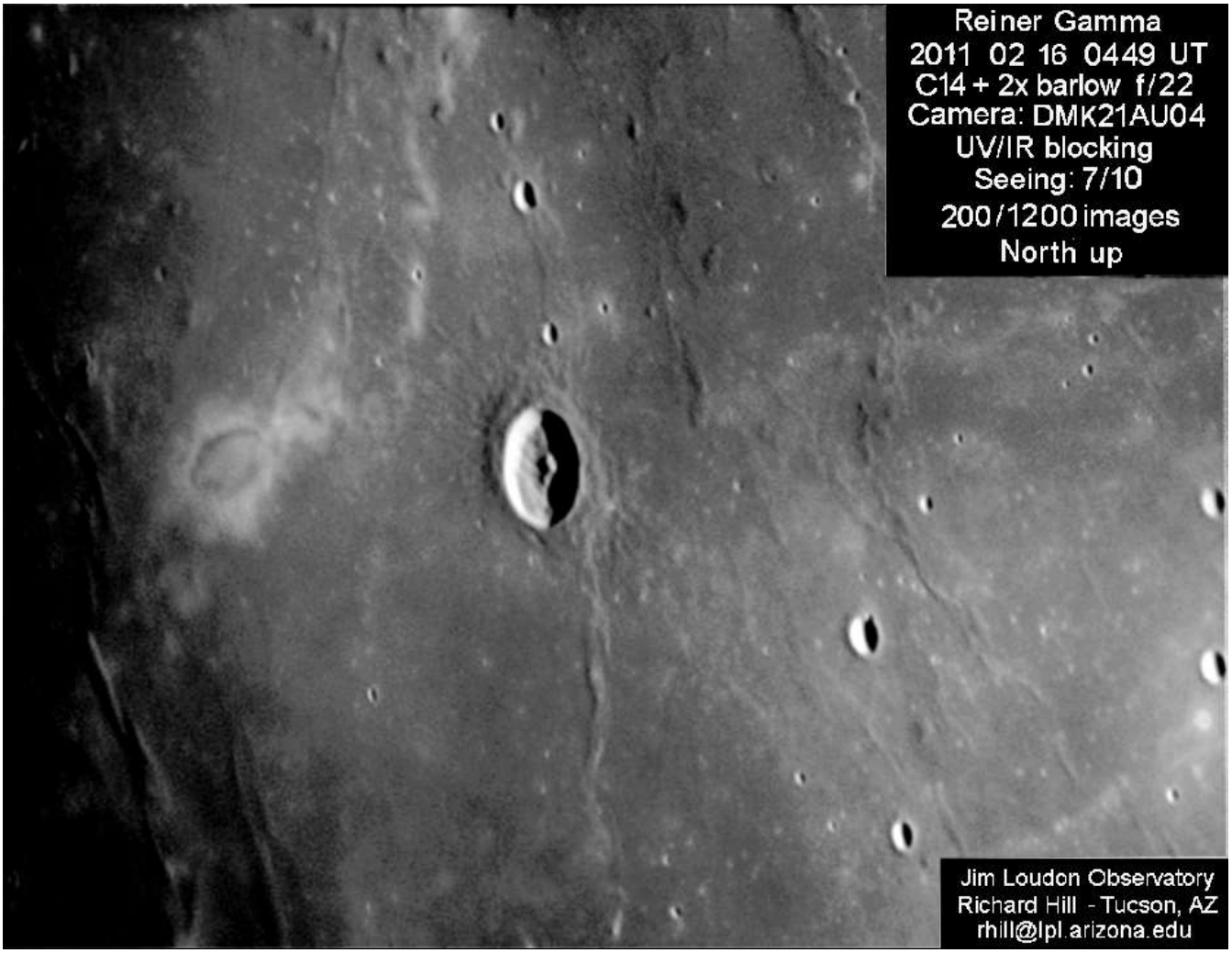
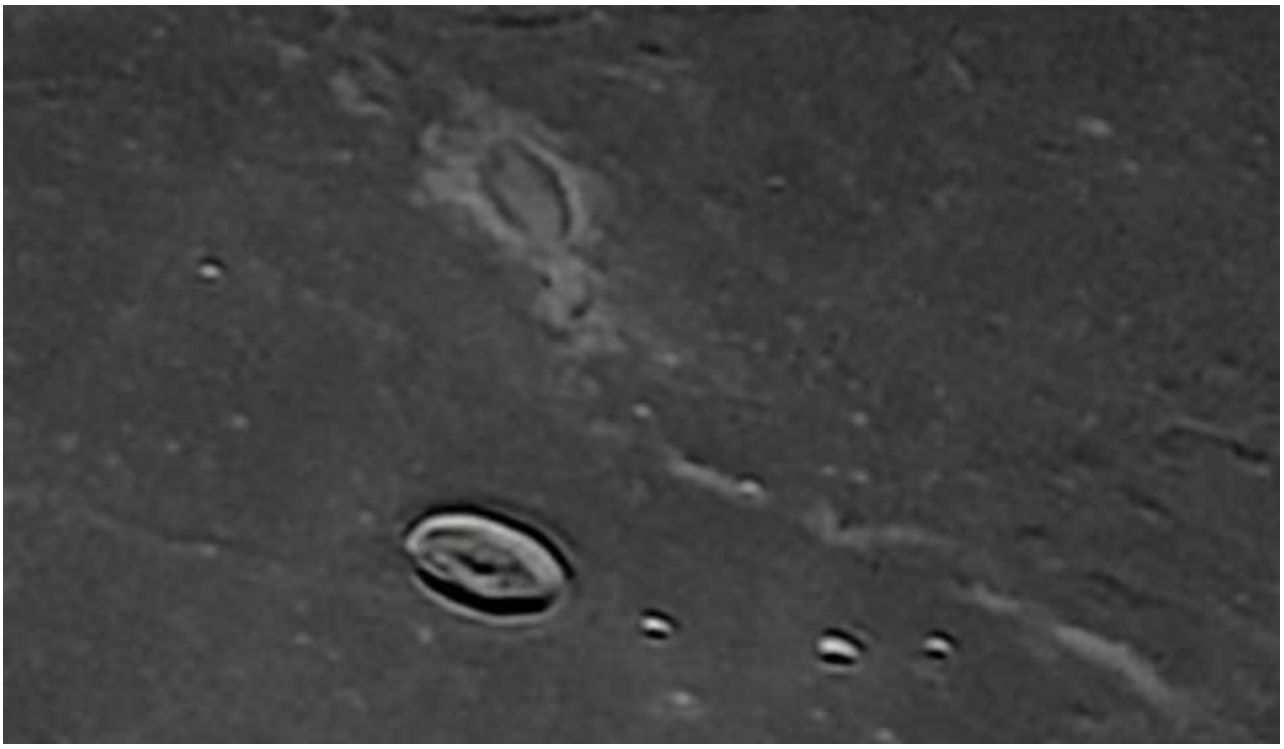


IMAGEN 10:

IMAGEN 11:

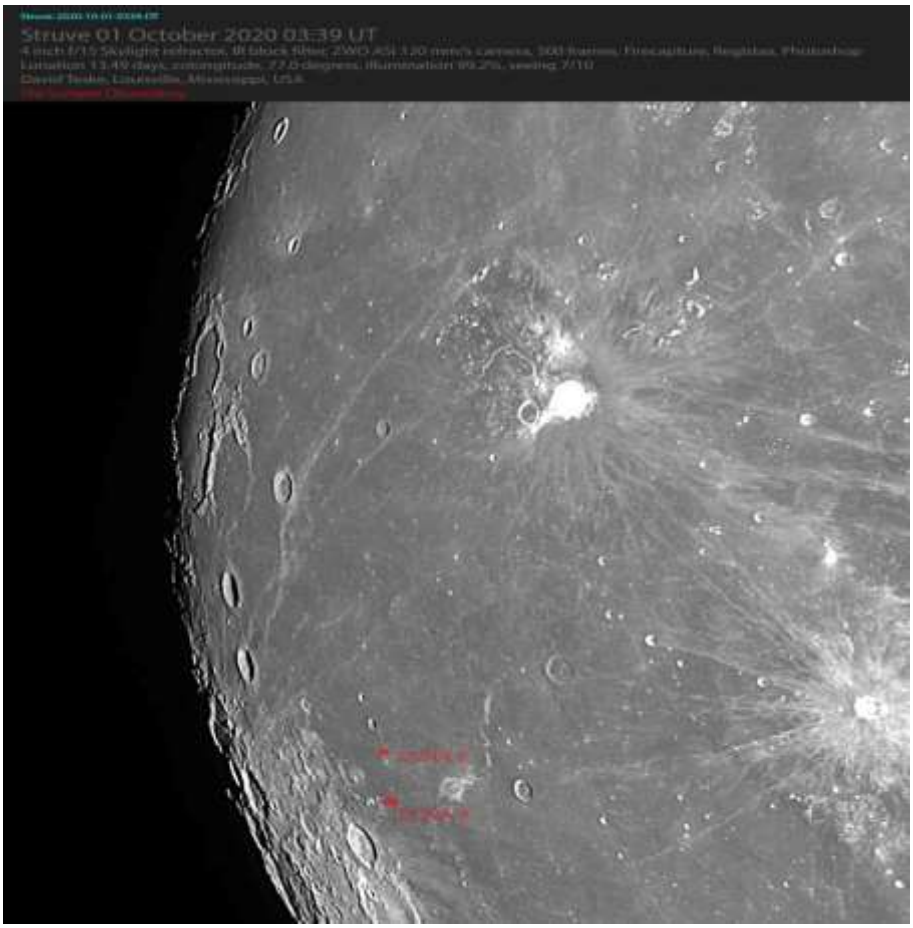
IMAGENES 12/13:



Veamos la interacción de Reiner Gamma con la topografía de la zona. Garfinkle resalta en “Luna Cognita” cómo una extensión del material brillante de Reiner Gamma sobrepasa un dorsum al suroeste, lo que se puede ver en la IMAGEN 9. En la IMAGEN 10 también observamos cómo el dorsum al suoreste de Reiner Gamma aparece como “manchado” por el material de Reiner Gamma. ¿Indicaría esto que Reiner Gamma es posterior al dorsum, y por ende no muy antiguo en términos geológicos? Es una deducción tentadora. Lo contrario ocurre si observamos la parte superior de la IMAGEN 10, pareciera que la extensión de Reiner Gamma hacia el norte, hacia Marius Hills, bordea una zona elevada, lo que se ve más claro en la IMAGEN 11, así como en la IMAGEN 12 y su detalle (IMAGEN 13).

Muy cerca de Reiner Gamma se encuentra la zona en que aterrizaron dos de las misiones de la serie soviética Luna. La sonda Luna 8 se estrelló al sureste de Galilaei D el 6 de diciembre de 1965. Era el primer intento de aterrizaje suave en la Luna para los soviéticos, quienes lo consiguieron el 3 de febrero de 1966 en Planitia Descensus, al este de Reiner Gamma, con la Luna 9, en la IMAGEN 14 marcamos ambos sitios.

IMAGEN 14:



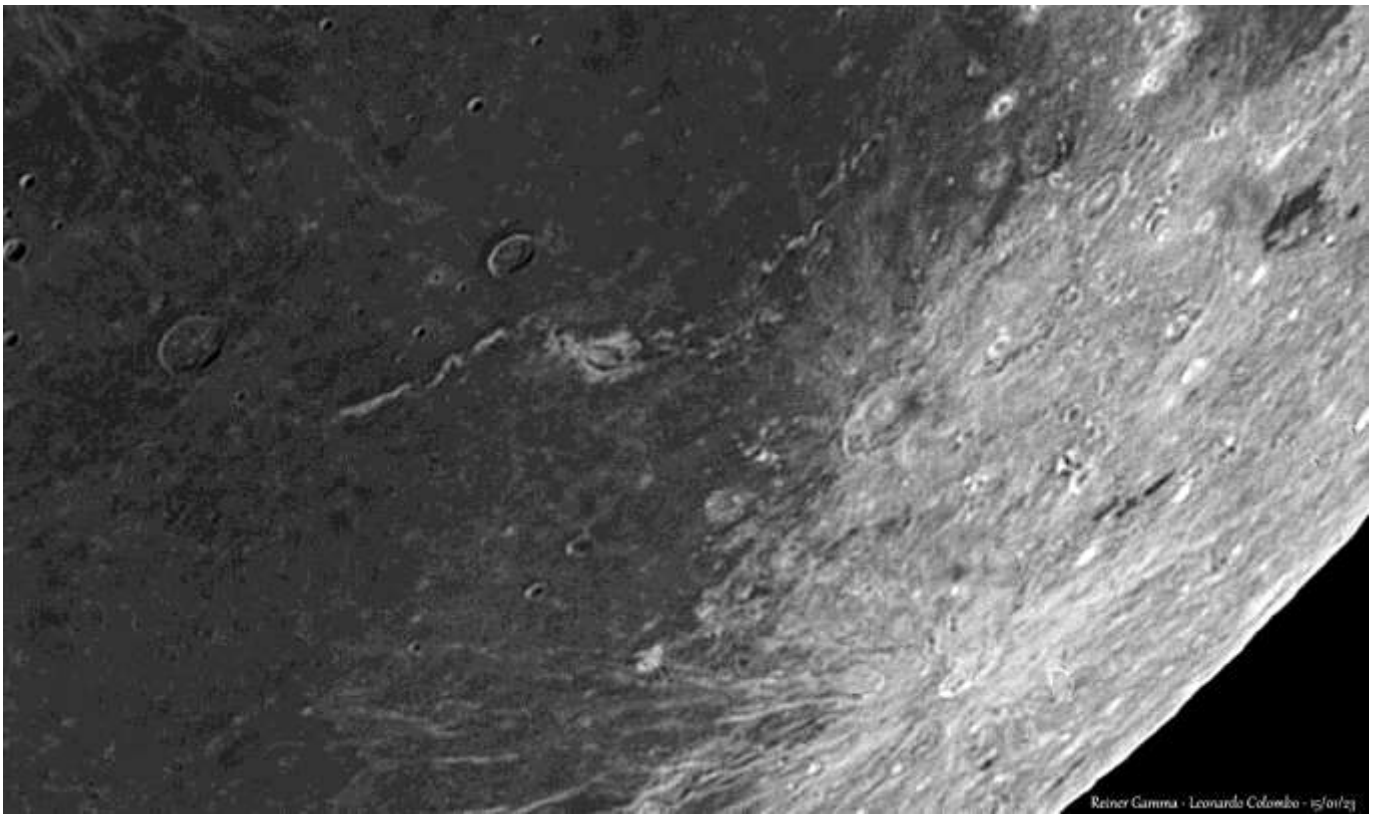
Reiner Gamma se emplaza en una zona en la que “Reiner Gamma se encuentra en una zona en la que “Gran parte de la superficie experimentó una importante actividad tectónica, lo que provocó flexiones y fallas de la superficie. De hecho, varios dorsa son prominentes en toda la región de Reiner Gamma. Sin embargo, se necesitan más estudios para determinar las edades relativas de las fallas y la anomalía del albedo en Reiner Gamma. Específicamente, ¿las tensiones de compresión asociadas con la formación de dorsa deformaron la anomalía del albedo, o la anomalía del albedo cubre fallas y pliegues preexistentes? Estas preguntas (y más) sobre Reiner Gamma aún siguen sin respuesta” (Foster, página 89).

IMAGEN 15:

Lo que caracteriza a los remolinos lunares, y en especial a Reiner Gamma es su albedo: “Las observaciones espectrales fundamentales que limitan el proceso de formación de remolinos son: 1) Los remolinos tienen mayor albedo, 2) Los remolinos parecen ligeramente enriquecidos en un componente que imita las tierras altas o el material rico en feldespato, 3) El material del remolino aparentemente tiene un mayor ancho de banda que el material circundante” (Garrick-Bethell).

Entonces, tenemos zonas brillantes que no tienen correlación con la topografía del lugar. ¿Tienen correlación con los materiales presentes en la zona? Parecería que sí: “la ausencia de cráteres de halo oscuro en los remolinos de Reiner Gamma, que esperaban que estuvieran presentes si los remolinos representaban capas superficiales delgadas de anortosita de las tierras altas. Por lo tanto, demostraron que Reiner Gamma no está compuesto predominantemente de materiales de las tierras altas, sino principalmente de material de mare y puede representar solo una alteración o disrupción del regolito de mare preexistente” (Hood and Williams, página 111)”. Es lógico que por décadas se haya buscado la correlación de las zonas brillantes con la topografía del lugar, ya que los remolinos tienen en su interior zonas oscuras, que por contraste realzan aún más su brillo y simulan sombras proyectadas por zonas altas.

IMAGEN 16:



Fue en 1972 que en los datos de los magnetómetros en sub-satélites lanzados por las misiones Apolo 15 y 16 se descubrió que los remolinos (cuyo número se había multiplicado con todos los que se descubrieron en la cara oculta) tenían fuertes campos magnéticos localizados. Y Reiner Gamma posee el campo magnético más fuerte de todos. A partir de descubrirse estas áreas de intenso magnetismo (magcons) relacionadas en la superficie con remolinos, se descubrió también un mecanismo para explicar las zonas brillantes: los campos magnéticos localizados (una anomalía, ya que la Luna carece de campo magnético global). Y es así que "La asociación entre remolinos y anomalías magnéticas ha llevado a la hipótesis de que la anomalía magnética protege la superficie del viento solar. Al carecer de la implantación y el chisporroteo del viento solar, el remolino no ha sufrido el proceso normal de oscurecimiento del suelo al que están sujetas las áreas no protegidas. Por lo tanto, puede ser que la presencia de una anomalía magnética preserve especialmente un alto albedo, incluso aunque se trate de una superficie magnéticamente protegida" (Blewett et al.). Es lo que se conoce como el modelo de deflexión del viento solar, que propone que "los remolinos representan materiales de silicato expuestos cuyos albedos se han conservado selectivamente a lo largo del tiempo mediante la deflexión del bombardeo de iones del viento solar por fuertes campos magnéticos de la corteza preexistentes. Según este modelo, la maduración óptica de las superficies de silicato expuestas en el sistema solar interior es, al menos en parte, función del bombardeo de iones del viento solar. Este modelo sugiere que la formación de remolinos es un proceso continuo, que data de la era de la formación de cuencas" (Kramer et al., página 3). Este sería el modelo que tendría más consenso para explicar las anomalías de albedo que son los remolinos lunares, que estarían relacionados con mini-magnetósferas: "Las minimagnetosferas exhiben características características de las magnetosferas planetarias normales, es decir, un choque sin colisión. Aquí mostramos que es el campo eléctrico asociado con el choque sin colisión a pequeña escala el responsable de desviar el viento solar entrante alrededor de la minimagnetosfera. Estos iones impactan la superficie lunar provocando cambios en la apariencia del albedo del suelo lunar. Por lo tanto, la forma de estos patrones de remolino debe estar dictada por las formas del choque sin colisión". Los choques sin colisiones son un fenómeno clásico de la física del plasma, omnipresente en muchos escenarios espaciales y astrofísicos (…) Lo que sorprende es el tamaño de las minimagnetosferas, del orden de varios 100 km; órdenes de magnitud más pequeñas que las versiones planetarias. La nitidez de las formaciones de remolinos lunares se ve realzada por el contraste de "carriles oscuros" (que sugieren un bombardeo de protones del viento solar localmente mejorado) dentro de los

remolinos de alto albedo (...) Evidencia obtenida mediante mediciones in situ de naves espaciales, incluido Lunar Prospector (1998- 1999), Kaguya (2007-2009), Chandrayaan 1 (2008-2009) y Nozomi (1998), son consistentes con la presencia de choques sin colisiones y la formación de mini-magnetosferas" (Bamford et al., páginas 1/ 2). La diversidad de formas de los remolinos lunares, entonces, se explicaría por la diversidad de formas de las mini-magnetósferas, al menos en este modelo teórico. La mini-magnetosfera de Reiner Gamma "se extiende 360 km en la superficie, formando una región de plasma mejorado de 300 km de espesor donde el viento solar fluye alrededor del campo" (Foster, página 89).

La presencia de estas mini-magnetosferas, que oficiarían de "escudo" frente al viento solar y de esta manera evitarían el "envejecimiento" del regolito y mantendrían brillante a remolinos como Reiner Gamma desde hace miles de millones de años. No es material "fresco" sino que lo parece por la presencia de la magnetós-fera. Aquí surgen 2 complicaciones: ¿cuál es el papel del viento solar en la degradación de la superficie lunar?, en contraposición con el otro elemento que compone el clima espacial, el constante bombardeo de micrometeoritos, y 2) ¿a qué se debe la presencia de estas minimagnetosferas?

El modelo de la mini-magnetósfera que protege la zona de la degradación originada por el viento solar se complica si pensamos que "una superficie protegida magnéticamente aún experimentaría el bombardeo de micrometeoritos. Se cree que la fusión, la formación de aglutinados y la deposición de vapor entre los granos de regolito como resultado del impacto de micrometeoritos desempeñan un papel importante en la erosión por el clima espacial" (Blewett et al.,2007).

IMAGEN 17:

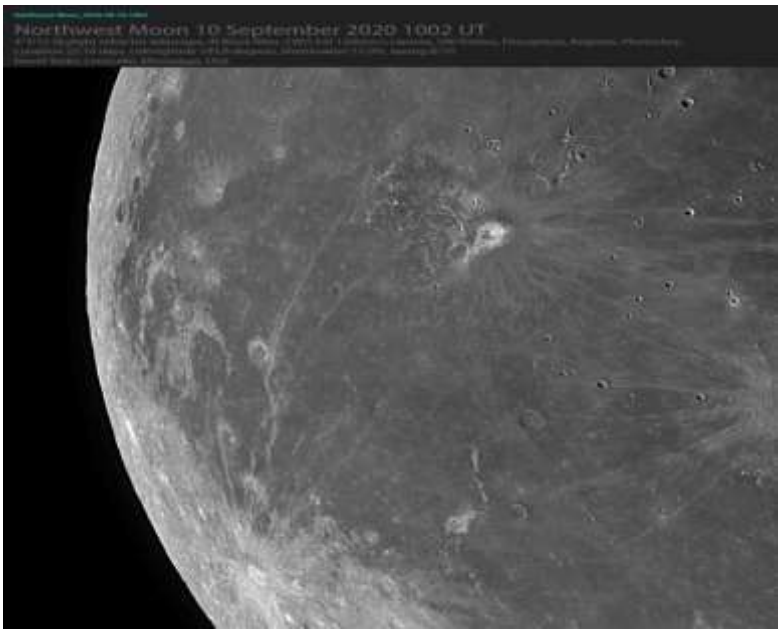


IMAGEN 18:

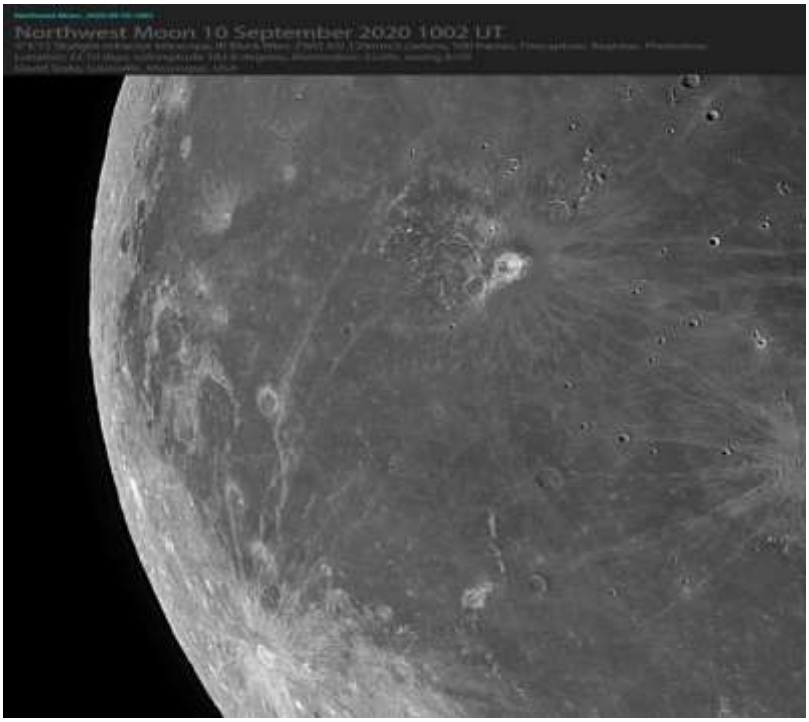


IMAGEN 19:

IMAGEN 20:

Para responder a la segunda pregunta, por el origen de las mini-magnetosferas, la hipótesis más aceptada parece ser la de la formación antipodal con los impactos gigantescos que formaron las cuencas en los primeros tiempos de la geología lunar. Mare Marginis está en las antípodas de la cuenca de Mare Orientale y Mare Ingenii en las antípodas de la cuenca Imbrium, por lo que surgió la posibilidad “que el accidente resultara de las

energías sísmicas generadas por los impactos que crearon los maria" (Wood, página 87).

El texto "The Lunar Swirls: Distribution and Possible Origins" explica esta hipótesis con bastante detalle: "La mayor concentración de campo superficial detectada por este método se produce cerca de las antípodas de las cuencas Orientale, Imbrium, Serenitatis y Crisium. Marcas de albedo en forma de remolino similares en morfología a Reiner Gamma están presentes en o cerca de las mismas zonas. Los fuertes campos de superficie en estas regiones están asociados estadísticamente tanto con ubicaciones de remolinos como con terreno inusual que se interpreta como el resultado de modificaciones sísmicas que ocurren en el momento de la formación de la Cuenca" (páginas 99/100), lo que implicaría que los remolinos no están distribuidos aleatoriamente sino relacionados con la geología prexistente en el lugar. La formación de la anomalía magnética antipodal al impacto se produciría luego de que dicho impacto "producirá una vaporización e ionización parcial del proyectil de silicato y del material objetivo, lo que conducirá a la formación de una nube de plasma que se expande térmicamente. Porque la nube está ionizada y se caracteriza por ser nube de plasma. Debido a que la nube está ionizada y se caracteriza por una densidad de energía interna relativamente alta, cualquier campo magnético ambiental (como el campo magnético del viento solar o un antiguo campo intrínseco lunar débil) quedará excluido del volumen ocupado por el plasma del impacto. A medida que la nube se expande junto con las eyecciones transportadas balísticamente. La gravedad lunar forzará a los componentes de menor energía del gas a seguir trayectorias que finalmente se cruzarán en la antípoda de la cuenca o por encima de ella. En consecuencia, se produce una compresión del plasma ambiental y del campo magnético en la zona antípoda, lo que conduce a un aumento del campo magnético durante un intervalo de tiempo limitado (Hood and Williams. página 100). Otro importante dato en favor de la tesis del impacto antipodal es que "una variedad de otros datos de muestras y orbitales indican que la mayor parte de la magnetización que se conserva en la corteza lunar se adquirió en momentos >3,0 AC. En consecuencia, desde hace años nos hemos visto obligados a investigar causas distintas a los impactos cometarios relativamente recientes para explicar la aparición conjunta de fuertes anomalías magnéticas y marcas de albedo en forma de remolino" (ibidem, página 112). Ahora bien, nuestro Reiner Gamma continuaría siendo un enigma, ya que no es antipodal a ningún impacto que haya generado una cuenca, podría ser el resultado de un impacto no tan significativo, o de una cuenca hoy enterrada debajo de Oceanus Procellarum. "Esto implica que el blindaje ha estado funcionando desde el momento de la formación de la cuenca (>~3.800 millones de años) y, por tanto, que los remolinos son

características muy antiguas. Sin embargo, con el tiempo, los impactos que forman cráteres podrían aportar nuevo material eyectado a un área

Esta teoría parece tener un consenso bastante amplio entre los estudiosos: “La evidencia actual sugiere que los procesos de impacto desempeñaron un papel importante en la producción de la magnetización más fuerte que se conserva en la corteza lunar. Las mayores concentraciones de fuerte magnetización se encuentran en las antípodas de las cuencas de impacto más jóvenes y más grandes, mientras que los campos dentro de las cuencas más jóvenes son relativamente débiles. Se encuentra un terreno inusual en las mismas regiones antípodas, lo que se interpreta como consecuencia de la convergencia de ondas sísmicas de compresión o eyecciones de cuenca (o ambas) en la antípoda (…) Si los materiales magnetizados son completamente superficiales y consisten, por ejemplo, en cuencas eyectadas, entonces podrían haberse formado lo suficientemente rápido como para haber adquirido su magnetización sólo en campos transitorios generados por el impacto. Sin embargo, si las fuentes están profundamente enterradas en la corteza, sus tiempos de formación serían mucho más largos, requiriendo un campo magnetizante constante, es decir, presumiblemente una dinamo central (...) Esta hipótesis es consistente con los estudios de muestra regresados que muestran que los materiales producidos por impactos (p. ej. , breccias) contienen más hierro magnéticamente protegida, "refrescando" ocasionalmente el remolino” (Blewett et al., 2007).

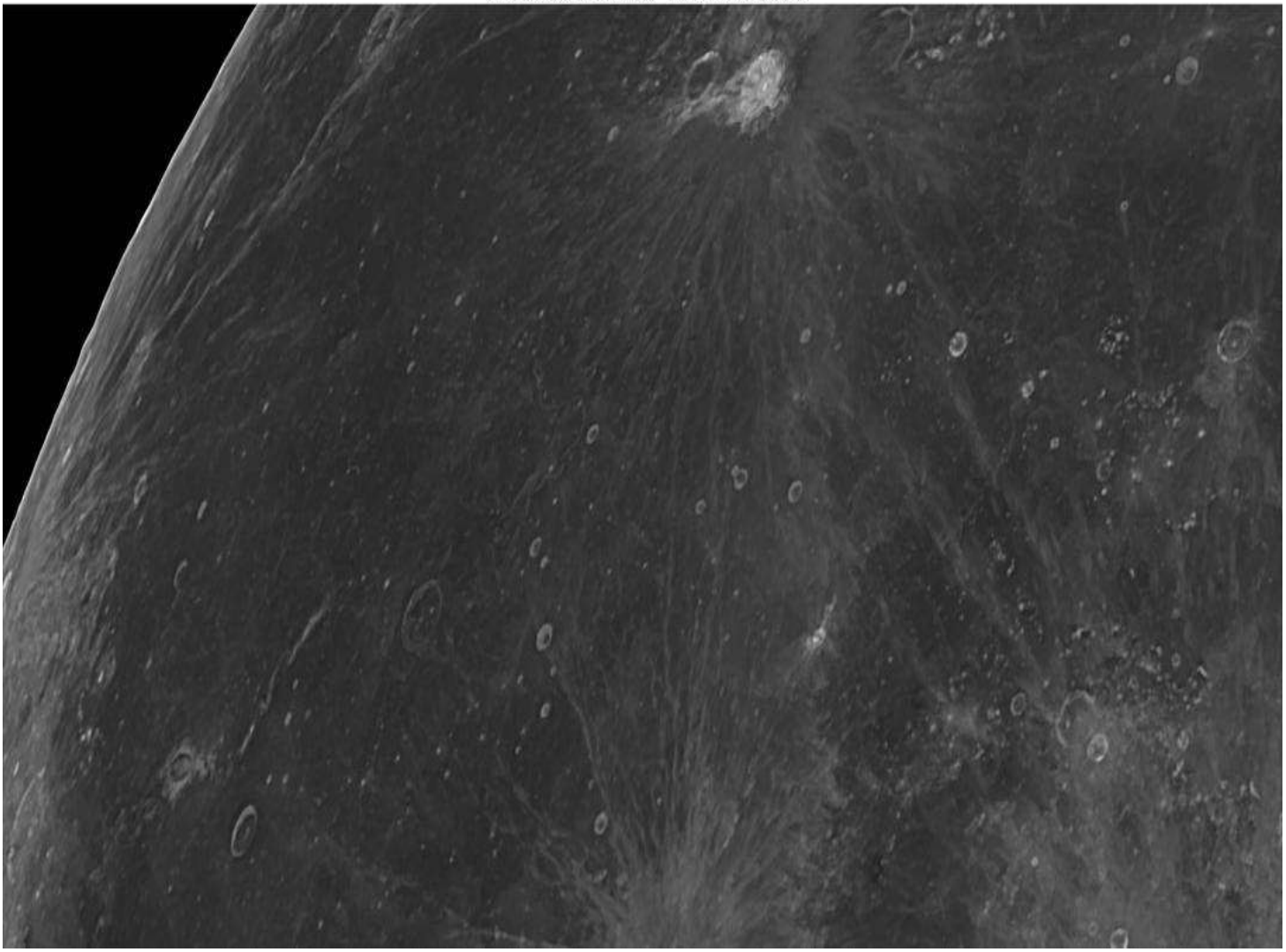
Esta teoría parece tener un consenso bastante amplio entre los estudiosos: “La evidencia actual sugiere que los procesos de impacto desempeñaron un papel importante en la producción de la magnetización más fuerte que se conserva en la corteza lunar. Las mayores concentraciones de fuerte magnetización se encuentran en las antípodas de las cuencas de impacto más jóvenes y más grandes, mientras que los campos dentro de las cuencas más jóvenes son relativamente débiles. Se encuentra un terreno inusual en las mismas regiones antípodas, lo que se interpreta como consecuencia de la convergencia de ondas sísmicas de compresión o eyecciones de cuenca (o ambas) en la antípoda (…) Si los materiales magnetizados son completamente superficiales y consisten, por ejemplo, en cuencas eyectadas, entonces podrían haberse formado lo suficientemente rápido como para haber adquirido su magnetización sólo en campos transitorios generados por el impacto. Sin embargo, si las fuentes están profundamente enterradas en la corteza, sus tiempos de formación serían mucho más largos, requiriendo un campo magnetizante constante, es decir, presumiblemente una dinamo central (...) Esta hipótesis es consistente con los estudios de muestra regresados que muestran que los materiales producidos por impactos (p. ej. , breccias) contienen más hierro

metálico y tienen intensidades de magnetización mucho más altas que los materiales ígneos (por ejemplo, basalto de mare)" (Hood, 2009).

Antes de la hipótesis antípoda, la formación de Reiner Gamma se atribuyó a un impacto más pequeño, una "eyección de cráter secundario inusualmente magnética asociada con el cráter cercano, Cavalerius, o mucho menos probable, con Olbers A. Según este modelo, la formación de el magnetismo se creó cuando fragmentos eyectados impactados y/o calentados con abundante Fe se enfriaron en presencia de un fuerte campo magnético" (Bell y Hawke). O bien, "los impactos de meteoritos que ocurren en regiones de fuertes campos de la corteza terrestre pueden depositar eyecciones parcialmente ionizadas o eyectas que contienen partículas de hierro paramagnéticas en patrones similares a remolinos debido a las fuerzas magnéticas sobre el material expulsado" (Hood y Williams, página 112). Más antiguas son las interpretaciones de Reinner Gamma derivadas de depósitos de cenizas volcánicas, depósitos volcánicos de alto albedo, escombros de tierras altas emplazados como eyecciones de impacto, o la relacionada con supuestas fracturas en la corteza, a la que se refiere Grego (página 169): "Puede ser una zona donde se han ventilado gases volcánicos, provocando un cambio en la coloración de los materiales de la superficie". Aún como mero observador, es fascinante seguir los debates sobre las causas de esta anomalía lunar, presenciar cómo se argumentan las hipótesis y el momento en que ninguno de los paradigmas en competición ha sacado ventaja respecto a los demás. Para los modelos que hemos visto, las regiones brillantes que forman Reiner Gamma son zonas antiguas que han sido escudadas del viento solar por la mini-magnetósfera, pero hay modelos que postulan que lo que parece material fresco por su brillo, realmente es material fresco. Para la explicación exógena más aceptada, Reiner Gamma debe sus extrañas características al impacto de un cometa. Como "El impacto de un cometa a alta velocidad no habría dejado un simple depósito superficial de escombros en polvo. Habría habido un cráter de impacto considerable, así como grandes rocas y otros depósitos de rocas debido al efecto de la explosión. Esas características faltan (…) Algunos investigadores han propuesto que la coma de un cometa, que se filtra justo por encima de la superficie, interactuó con la superficie lunar, cambiando las propiedades de la superficie hasta el punto en que el remolino Reiner Gamma podría persistir durante millones de años". (Foster, páginas84/86).

IMAGEN 21

Reiner Gamma 2022-10-11-0232UT
Lunation: 15.19 Colongitude 99.8 deg Sub-solar Lat: 0.8 deg
Paul Walker, Middlebury, VT, USA, paulwaav@together.net
10" f/5.6 Newt. (1407mm) w/Meade 2", 1.5X Barlow (~2.03 X prime), 1/250 sec @ ISO 200
Canon Rebel T7i (EOS 800D) modified (Visible + H-Alpha sensor filter)
~0.26 arc sec/pixel (.0.48 Km) smallest features 1.5 to 2 Km
Stack- 20% of 3115, B&W (Lum ch from color image)
Stacked (AutoStakker!3), Wavelets (Registax 6



A continuación, una descripción completa de la hipótesis cometaria: “El modelo de impacto cometario sostiene que el alto albedo de los remolinos representa la erosión del regolito de la superficie superior y la exposición de material fresco por impactos cometarios relativamente recientes. Según este modelo, las fuertes anomalías magnéticas asociadas son el resultado de la magnetización de materiales cercanos a la superficie calentados por encima de la temperatura de Curie a través de colisiones de gases a hipervelocidad y microimpactos. Los defensores del modelo de impacto cometario consideran que la aparición de muchos remolinos en las antípodas de cuencas importantes relativamente jóvenes es una coincidencia o el resultado de un mapeo incompleto de las ubicaciones de los remolinos. Los impactos de cometas relativamente recientes en la Luna podrían dejar rastros únicos de sus orígenes: las altas velocidades de impacto y la abundancia de volátiles, combinadas con la presencia de una coma cargada de polvo y hielo, pueden procesar térmica y mecánicamente la superficie lunar de maneras distintas al impacto. de un asteroide (…) Se espera que la expresión en la superficie de tal evento difiera de los impactos de asteroides estadísticamente dominantes, debido a una combinación de factores: mayores velocidades de impacto, diferentes condiciones de impedancia acústica, mayor contenido volátil y la presencia del entorno circundante. coma enriquecido con gas y polvo (…) Los remolinos de Reiner Gamma, Goddard A e Ingenii pueden representar los eventos más recientes, mientras que patrones débiles en otros lugares podrían indicar restos de colisiones más antiguas” (Schultz).

Una variante interesante es la del modelo de enjambre de meteoroides: “los núcleos cometarios se fragmentan por fuerzas de marea atribuidas a la Tierra y/o al Sol antes de encontrar la superficie lunar. Durante e inmediatamente después del impacto, las colisiones entre partículas en la nube de escombros y las partículas de regolito de los eyectados chocan entre sí, formando características de remolino curvilíneo. Los fragmentos finales de polvo de un enjambre pueden formar un halo con albedo y diferencias de color del sustrato alrededor de la parte principal del remolino” (Kramer et al., página 3).

“Tradicionalmente, ha habido dos clases de hipótesis para explicar los remolinos. El primero sugiere que los impactos de cometas o micrometeoroides erosionaron las capas superficiales maduras del suelo lunar, dejando tras de sí material brillante e inmaduro. La segunda hipótesis sugiere que los campos magnéticos asociados con los remolinos se mantienen alejados del viento solar e impiden la maduración del suelo subyacente. La primera hipótesis tiene dificultades para explicar la fuerte magnetización de la corteza observada en los remolinos, mientras que la segunda no puede explicar la aparente falta de erosión de micrometeoroides en los remolinos y la

existencia de remolinos en lugares con campos magnéticos relativamente modestos (por ejemplo, Mare Marginis)" (Garrick- Betel). Por eso es que surgió una tercera hipótesis, relacionada con el transporte de polvo fino cargado por la superficie lunar, un fenómeno conocido desde las sondas Surveyor en el amanecer lunar: "El Sol irradia intensamente la superficie lunar con fotones ultravioleta, muchos de los cuales tienen suficientes fotones individuales energía para eliminar fotoeléctricamente los electrones de los granos de regolito. La pérdida de electrones produce carga positiva en áreas iluminadas por el sol, y los granos de polvo cargados son repelidos del suelo cargado para realmente levitar y volar a áreas oscuras y menos positivas (...) Delgadas nubes de polvo abrazan el terminador, visto cuando se ilumina en ángulos bajos del sol mirando hacia el sol naciente o poniente. Visto durante todo el programa Surveyor de 1966-1968 (por Surveyor 1, 5, 6 y 7), este fenómeno del horizonte quedó inexplicado y no se publicó en revistas científicas, mientras que se publicaron observaciones similares de la corona solar (la atmósfera extendida del Sol). Los resplandores del horizonte observados en 1973 por Lunokhod 2 fueron pasados por alto en gran medida fuera de la Unión Soviética. En 1972, David Criswell (Instituto de Ciencias Lunares) teorizó sobre la levitación fotoeléctrica del polvo, y ese mismo año se pidió a Gene Cernan, comandante del Apolo 17, que dibujara desde la órbita lunar el Sol poniente para recrear las observaciones del Surveyor. Sus resultados fueron sorprendentes: no sólo se podía ver la corona, sino también enormes columnas de luz que se extendían mucho más allá de la Luna, incluso más allá de la luz zodiacal: polvo en órbita solar en el Sistema Solar interior. Esto implicaba que el polvo se elevaba decenas de kilómetros, dispersando la luz del sol hacia Apolo, y fue publicado (simultáneamente con el artículo sobre el resplandor del horizonte del Surveyor), pero obtuvo poca atención inmediata. Enormes columnas sólo fueron reportadas visualmente, no vistas en todas las misiones (vistas en el Apolo 8, 10, 15 y 17, pero no en el Apolo 16; no se intentaron observaciones en Apolo 11, 12 y 14)" (Crotts, página 270). Este tercer modelo es el que relaciona el brillo anómalo de Reiner Gamma con este fenómeno recientemente considerado de la levitación del polvo cargado eléctricamente: "Buscamos un modelo para la formación de remolinos que permita la erosión de micrometeoritos, explique la asociación con campos magnéticos y explique las propiedades espectrales únicas. El modelo se basa en observaciones de campos eléctricos débiles en las anomalías magnéticas de la corteza terrestre en los sitios de los Apolo 12 y 14. En un proceso que no está relacionado con los campos magnéticos de la corteza terrestre, los campos eléctricos elevan un fino polvo lunar sobre la superficie. Este fenómeno ha sido observado por muchas naves e instrumentos espaciales, a altitudes sobre la

superficie lunar que van desde centímetros hasta kilómetros. Se desconoce la mecánica exacta del lofting, pero varias observaciones sugieren que opera principalmente en la región del terminador. En nuestro modelo asumimos que se levanta polvo fino cargado dos veces al día en cada cruce del terminador. (…) Tener en cuenta que incluso si el levantamiento de polvo solo está activo en el terminador, el viento solar aún puede interactuar con el campo magnético de la corteza terrestre para producir el campo eléctrico requerido. Según el modelo de transporte de polvo, las franjas oscuras pueden ser regiones donde el campo eléctrico horizontal neto es cero y el transporte de polvo se detiene (…) El transporte horizontal de polvo es un mecanismo viable para explicar las inusuales tendencias de meteorización en los remolinos lunares"; y por fin el "aparente componente de las tierras altas es en realidad un enriquecimiento en material feldespático de grano fino. Un material inusualmente abundante de grano fino podría crear tal enriquecimiento feldespático porque la fracción más fina tanto de los suelos de yegua como de las tierras altas es naturalmente rica en feldespato" (Garrick-Bethell).

IMAGEN 22

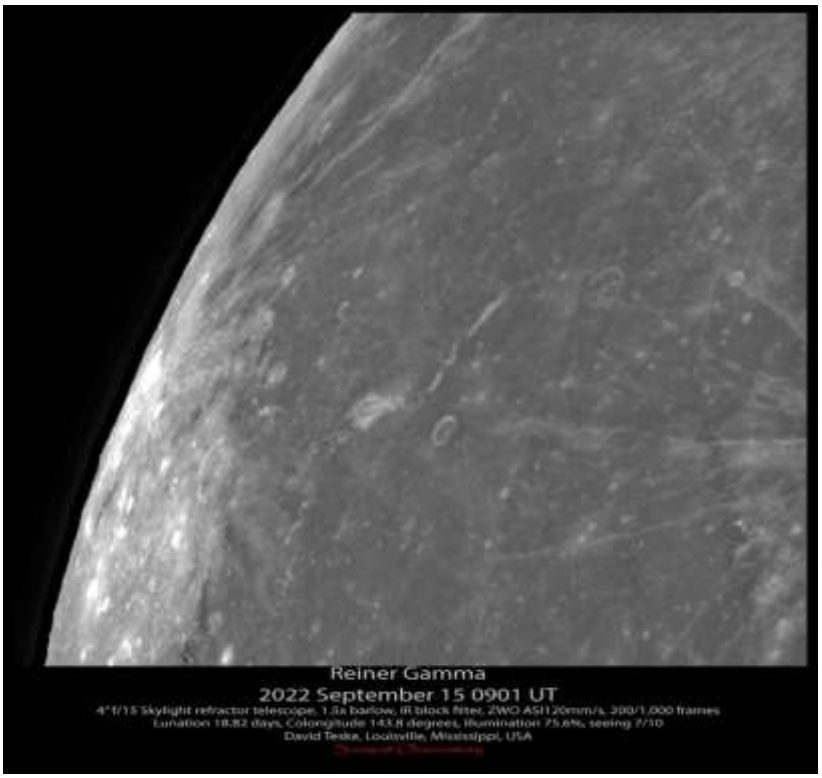


IMAGEN 23

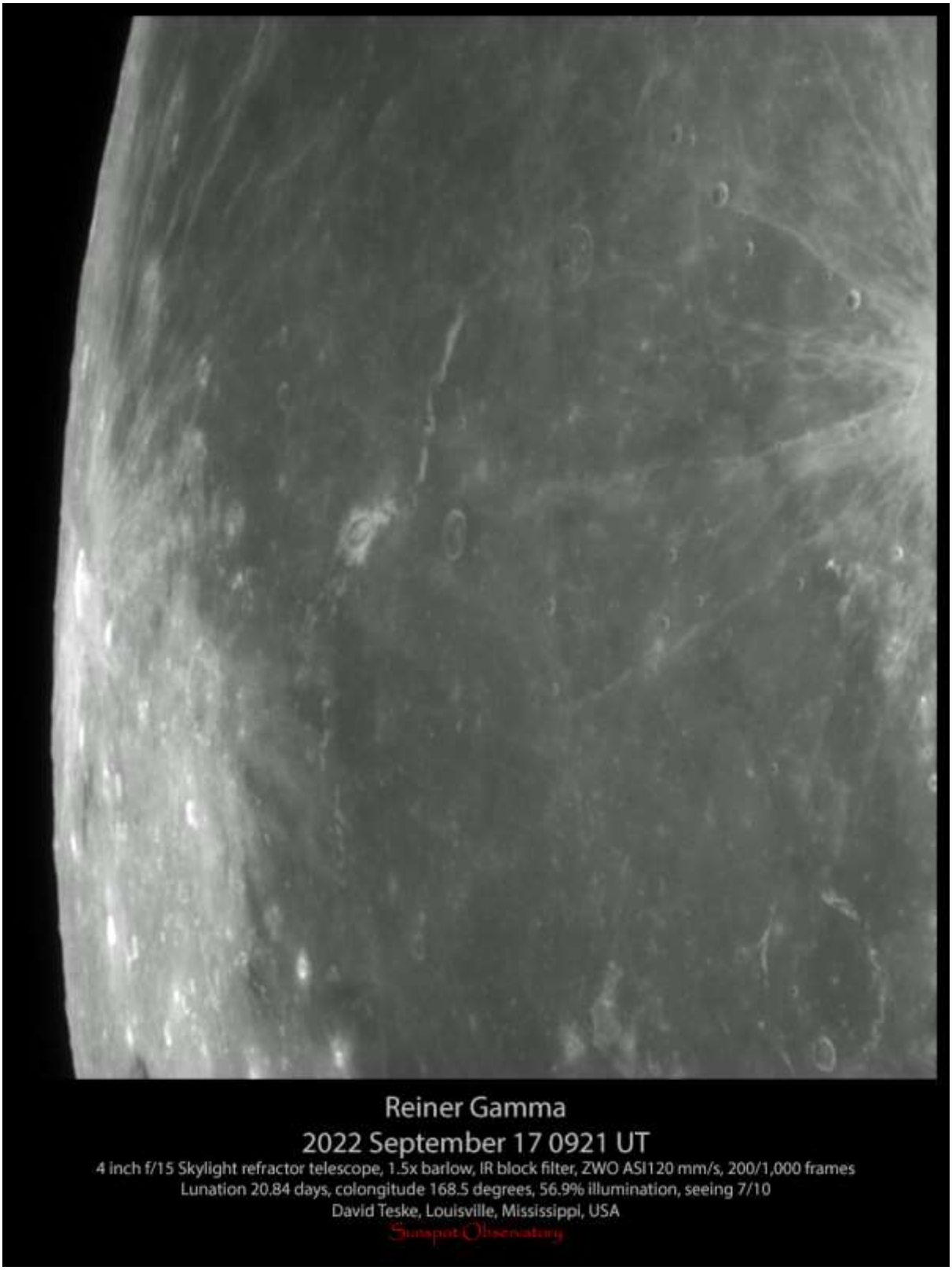
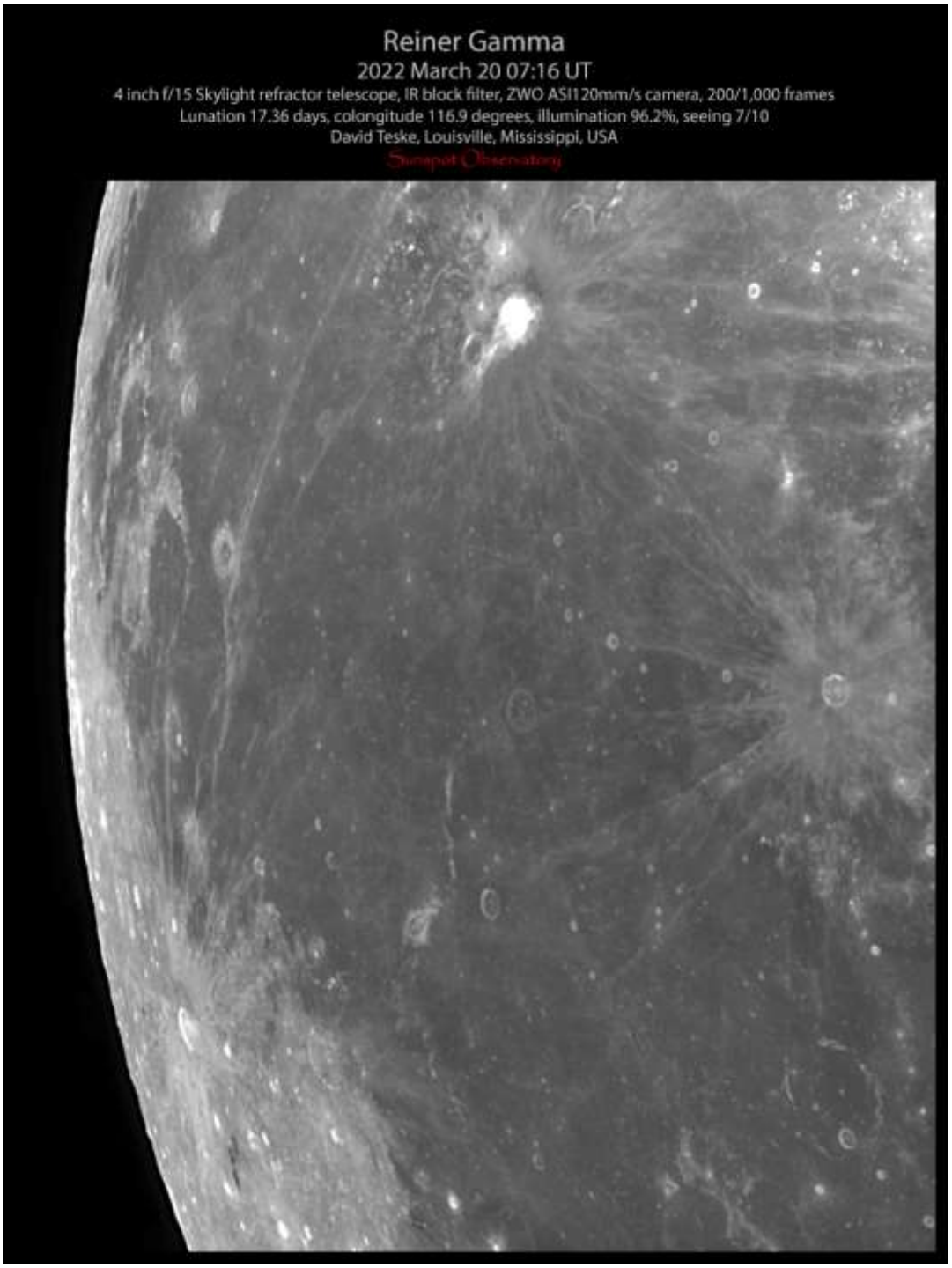

Reiner Gamma
2022 September 17 0921 UT
4 inch f/15 Skylight refractor telescope, 1.5x barlow, IR block filter, ZWO ASI120 mm/s, 200/1,000 frames
Lunation 20.84 days, colongitude 168.5 degrees, 56.9% illumination, seeing 7/10
David Teske, Louisville, Mississippi, USA
Sunspot Observatory

IMAGEN 24


Reiner Gamma
2022 March 20 07:16 UT
4 inch f/15 Skylight refractor telescope, IR block filter, ZWO ASI120mm/s camera, 200/1,000 frames
Lunation 17.36 days, colongitude 116.9 degrees, illumination 96.2%, seeing 7/10
David Teske, Louisville, Mississippi, USA
Sunspot Observatory

Es interesante la propuesta de testear la antigüedad de los remolinos que encontramos en Kramer (2010): “Los cráteres de impacto de estos tamaños deberían distribuirse aleatoriamente por la superficie. Sin embargo, si un campo magnético protege continuamente los remolinos de los iones del viento solar, retardando así la maduración, debería haber una mayor densidad de cráteres inmaduros en las superficies de los remolinos. La razón es que los impactos recientes en las superficies de los remolinos protegidas magnéticamente estarán mejor protegidos de la maduración del viento solar, a diferencia de los impactos contemporáneos en ubicaciones fuera de los remolinos. Si los remolinos de Ingenii provienen de un reciente enjambre de meteoritos o del impacto de un cometa, que expuso material fresco, entonces los impactos posteriores se distribuirían aleatoriamente por todo el mare. En este caso, la densidad de los cráteres inmaduros en el remolino debe ser aproximadamente igual a la densidad de los cráteres inmaduros fuera del remolino. Nuestros resultados muestran una clara propensión a que los impactos inmaduros se ubiquen en los remolinos de alto albedo, lo que respalda un modelo para el blindaje continuo del viento solar por el campo magnético”.

Hoy sabemos que un evento (cualquiera sea la hipótesis que se termine imponiendo acerca de su origen), sucedido hace millones de años (desde hace más de 3000 millones de años hasta unos pocos centenares de millones de años) modificó las propiedades magnéticas de los materiales superficiales, creando una mini-magnetósfera que impide que el viento solar los degrade, diferenciándolos de los materiales de la superficie fuera del campo magnético localizado. Como vemos, son más los interrogantes que las certezas.

La importancia del estudio de los remolinos lunares, y en especial nuestro Reiner Gamma, es esencial, y está estupendamente resumida en el paper para el NASA Decadal Survey de 2009 “The Lunar Swirls”: “Las preguntas clave en la ciencia planetaria que pueden abordarse mediante mediciones de la superficie en una anomalía magnética/albedo lunar incluyen: 1. Geociencia lunar: el origen de los remolinos lunares. 2. Magnetismo planetario: la fuente del campo magnetizante responsable de las anomalías de la corteza terrestre (a) la dinamo central temprana, o (b) la amplificación de los campos ambientales por plasmas generados por impactos que forman cuencas. 3. Meteorización espacial: un proceso que afecta la interpretación de las observaciones por teledetección de todos los cuerpos rocosos sin aire del Sistema Solar. La confirmación de la pulverización/implantación del viento solar como un importante contribuyente a los efectos ópticos

de la meteorización espacial sería un nuevo paso significativo. 4. Física fundamental del plasma: la interacción del viento solar con anomalías magnéticas de pequeña escala"

Reiner Gamma y otros remolinos son una herramienta fundamental para estudiar el clima espacial: "La importancia relativa de la pulverización del viento solar versus el impacto de micrometeoritos ha sido un tema de debate. Si las anomalías magnéticas de la corteza lunar, que pueden generar minimagnetosferas, son responsables de proteger suelos de los procesos que producen los efectos ópticos asociados con la maduración, entonces, implícitamente, el viento solar es el agente dominante de la erosión espacial, porque una anomalía magnética no bloquearía los micrometeoroides. Tal proceso está respaldado por nuevos resultados de la misión lunar japonesa Kaguya, que ha demostrado de manera concluyente que los iones del viento solar se desaceleran y se desvían, y en gran medida se reflejan, por encima de las anomalías magnéticas de la corteza terrestre más fuertes" (Kramer et al., página 3).

La recomendación en 2009, para ayudar a resolver este enigma de la geociencia lunar, era "Se podría lograr un progreso significativo hacia la resolución de este rompecabezas mediante una misión de rover para medir el campo magnético de la superficie y el flujo del viento solar en varios puntos dentro de las partes brillantes y oscuras. de un remolino. La capacidad de resolver espacialmente este nivel de detalle no es posible con un orbitador. El rover también debería estar equipado con un espectrómetro capaz de caracterizar la abundancia elemental de regolito" (Kramer et al., página 4). Por eso es que se escogió Reiner Gamma como una de las 50 "Regions of Interest on the Moon" del "NASA Constellation Program Office.

El citado NASA Decadal Survey de 2009 (página 4) recomendaba una misión en superficie: "El origen de los remolinos lunares es un importante enigma en la geociencia lunar. Se podría lograr un progreso significativo hacia la resolución de este enigma mediante una misión con un rover para medir el campo magnético de la superficie y el flujo del viento solar en varios puntos dentro de las partes brillantes y oscuras de un remolino. La capacidad de resolver espacialmente este nivel de detalle no es posible con un orbitador".

Estamos a muy poco de conocer mucho más sobre Reiner Gamma, cuando en 2024 llegue a dicha extraña formación una misión de la NASA llamada VERTEX, seleccionada como una de las primeras Payloads and Research Investigations on the Surface of the Moon (PRISM), consistente en un lander y un rover. Sus objetivos son: "1) Investigar el origen de las anomalías magnéticas lunares; 2) Investigar el origen de los remolinos lunares; 3) Determinar la estructura de la minimagnetosfera que se forma sobre la anomalía magnética RG. En el curso de la consecución de esos objetivos, la misión proporcionará datos

clave para evaluar la importancia del bombardeo de micrometeoritos frente a la exposición de iones/electrones en la erosión espacial del regolito de silicato. Estos objetivos se remontan al Planetary Decadal Survey" (Blewett, 2022). El lander tendrá tres instrumentos: the Vertex Camera Array, para analizar la geología del sitio de alunizaje y realizer modelos fotométricos para generar información sobre las características del regolito, el Vector Magnetometer-Lander, y el Magnetic Anomaly Plasma Spectrometer, un analizador de plasma que medirá la energía,. Flujo y dirección de los iones y electrons que alcanzan la superficie; mientras que el rover tendrá dos instrumentos: el Vector Magnetometer-Rover y el Rover Multispectral Microscope.

David Blewett (autor de varios de los textos citados en este texto) es el investigador principal de este proyecto del Johns Hopkins Applied Physics Laboratory (APL), que implica una travesía de 2 kilómetros por distintas zonas cubiertas por la mini-magnetósfera que cubre Reiner Gamma, por un periodo de 14 días (lo que dura la iluminación solar en la zona, ya que no habrá más energía que la energía solar).

Quedamos esperando ansiosamente la llegado de Vertex a Reiner Gamma, una zona que será muy importante para la futura colonización lunar. Pensemos que "Los iones del viento solar (hidrógeno, helio y otros oligoelementos) implantados en el regolito superior son la principal fuente de volátiles lunares en la mayoría de las latitudes. El efecto de enfoque de los campos magnéticos de la corteza puede producir concentraciones de estos volátiles en áreas periféricas o entre campos de la corteza fuertes (es decir, en las franjas oscuras "sobremaduradas"). El regolito con mayor contenido de viento solar podría ser útil desde la perspectiva de la extracción de recursos. De manera similar, puede resultar ventajoso ubicar un puesto avanzado en un área que experimente un bajo grado de bombardeo de viento solar. Por ejemplo, la levitación del polvo fino cargado eléctricamente en la superficie lunar ha recibido considerable atención. Podría ser que las áreas protegidas de la implantación de iones sean menos susceptibles a la carga eléctrica del polvo". ¿Visitarán nuestros hijos o nuestros nietos Reiner Gamma, aprovechando su "escudo" de la radiación solar?

BIBLIOGRAFÍA:

Bamford et al. (2012): Mini-magnetospheres above the lunar surface and the formation of lunar swirls. On: https://arxiv.org/abs/1207.2076

Bell and Hawke (1987): Recent Comet Impacts on the Moon? Planetary Geosciences Division, Hawaii Institute of Geophysics, Univ. of Hawaii. On: https://adsabs.harvard.edu/full/1983LPI....14...29B

Blewett et al. (2007): Varieties of Lunar Swirls. Lunar and Planetary Science XXXVIII. On: https://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2007/pdf/1232.pdf

Blewett (2022): Lunar Vertex: Prism Exploration of Reiner Gamma. 53rd Lunar and Planetary Science Conference. On: https://www.hou.usra.edu/meetings/lpsc2022/pdf/1131.pdf

Crotts (2014): The New Moon. Cambridge University.

Domingue (2021): Topographic Correlations Within Lunar Swirls in Mare Ingenii. Geophysical Research Letters. On: https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2021GL095285

Foster (2016): Modern Mysteries of the Moon. Springer.

Garfinkle, Robert (2020), Luna Cognita, Springer, New York.

Garrick-Bethell (2010): Spectral properties of lunar swirls and their formation by dust transport. 41st Lunar and Planetary Science Conference. On: https://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2010/pdf/2675.pdf

Grego, Peter (2005), The moon and how to observe it, Springer.

Hood (2009): Lunar Magnetism. Lunar Reconnaissance Orbiter Science Targeting Meeting. On: https://www.lpi.usra.edu/lpi/contribution_docs/LPI-001483.pdf

Hood and Williams (1989): The Lunar Swirls: Distribution and Possible Origins. Proceedings of the 19th Lunar and Planetary Science Conference. Houston. On: https://adsabs.harvard.edu/full/1989LPSC...19...99H

Hughes et al. (2006): Optical Maturity and Magnetic Studies of Lunar Swirls. Blewett Lunar and Planetary Science XXXVII. On: https://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2006/pdf/1230.pdf

Kramer (2009): The Lunar Swirls. A White Paper to the NASA Decadal Survey. https://www.lpi.usra.edu/decadal/leag/GeorgianaYKramer.pdf

Kramer (2010): An investigation into the effects of the magnetic anomaly on regional space weathering at Mare Ingenii and its influence on the spectra of the basalts and lunar swirls. 41st Lunar and Planetary Science Conference. On: https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2010JE003656

Schultz (2015): Cometary impact effects at the Moon: Implications for lunar swirl formation. Icarus, Volume 257. On: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0019103515002079

Wood, Charles A. (2003), The modern Moon. A personal view, Sky and Telescope, Cambridge

IMÁGENES:

1: Juan Manuel Biagi (Argentina).

2: David Teske (Estados Unidos)

3: David Teske (Estados Unidos)

4: Michel Deconinck (Francias)

5: Alberto Anunziato (Argentina).

6: David Teske (Estados Unidos)

7: David Teske (Estados Unidos)

8: Juan Manuel Biagi (Argentina).

9: Rik Hill (Estados Unidos)

10: Rik Hill (Estados Unidos)

11: Rik Hill (Estados Unidos)

12: Felix León (República Dominicana)

13: : Felix León (República Dominicana)

14: David Teske (Estados Unidos)

15: Gregory Shanos (Estados Unidos).

16: Leonardo Alberto Colombo (Argentina).

17: David Teske (Estados Unidos)

18: David Teske (Estados Unidos)

19: David Teske (Estados Unidos)

20: David Teske (Estados Unidos)

21: Paul Walker (Estados Unidos)

22: David Teske (Estados Unidos)

23: David Teske (Estados Unidos)

24: David Teske (Estados Unidos)

EL MENSAJERO
DE LA LUNA

Programa "zonas de libración"

ASOMÁNDONOS A LA CARA OCULTA DE LA LUNA

Envianos tus observaciones de:
1)Mare Orientale, 2) Mare Australe, 3) Polo Sur, 4) Polo Norte, 5)Mare Humboldtianum, 6) Mare Marginis y Mare Smithii
a los siguientes emails:
sociedadlunarargentina@gmail.com
info@sao.org.uy
icarosbo@gmail.com

Sociedad Lunar SLA Argentina

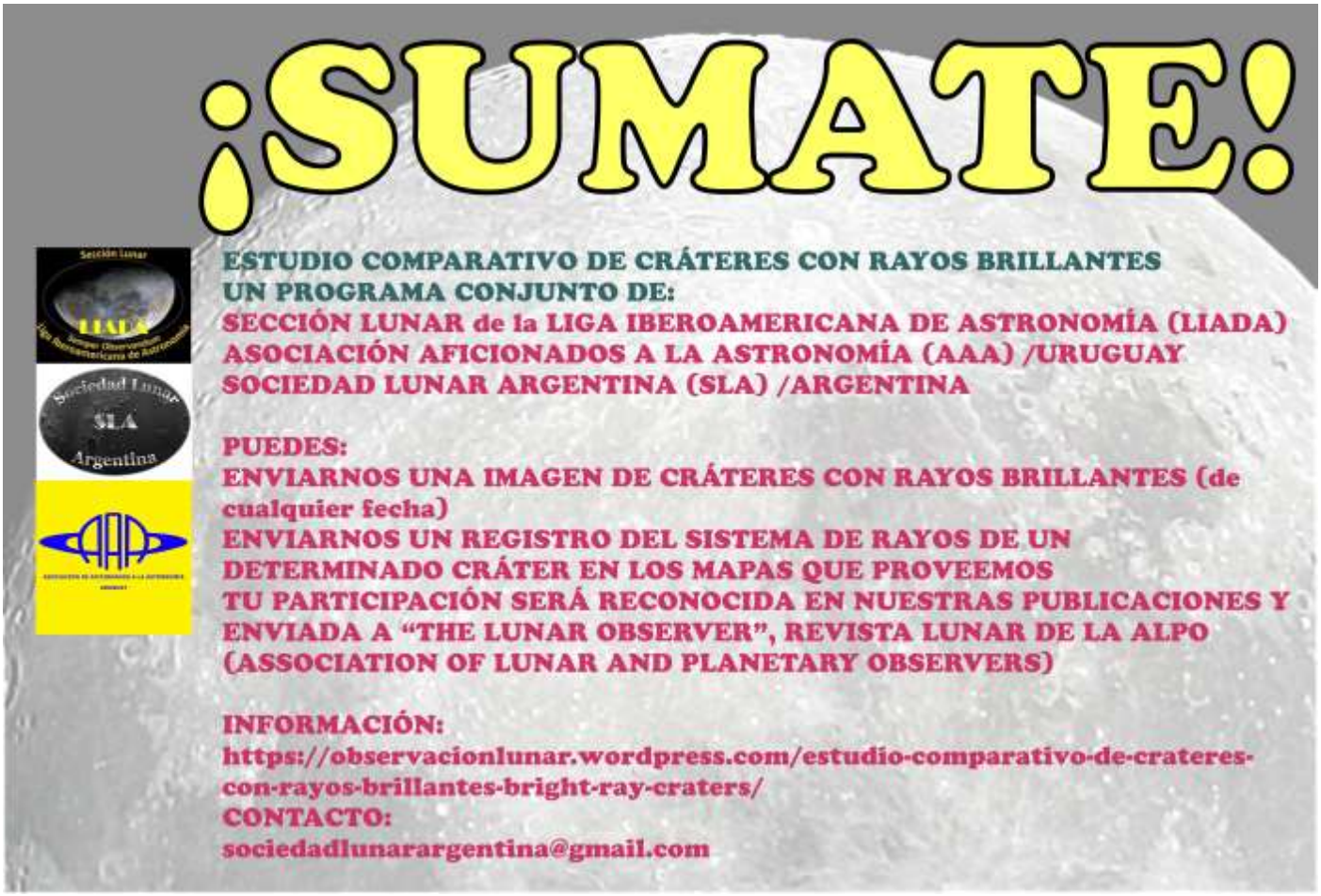
SAO Sociedad Astronómica Octante Montevideo - Uruguay

Icarus

Pro - Am
Liga Iberoamericana de Astronomía
LIADA
Semper observandum
Profesional - Amateur

AUSPICIA:

EL MENSAJERO
DE LA LUNA



Estimado colaborador del Programa "Estudio Comparativo de Cráteres con Rayos Brillantes":

Solicitamos imágenes, en cualquier momento de la lunación, de los siguientes crateres:

Agrippa — Alpetragius B — Anaxágoras — Aristarchus — Aristillus — Aristoteles — Autolycus — Bessarion – Bessell – Birt – Burg — Byrgius A – Copernicus — Doppelmayer K — Furnerius C — Hercules D, E y G — La Condamine — Lalande – Lambert — Langrenus – Manilius – Maury – Messier — Messier A – Philolaus – Proclus – Pytheas — Rabbi Levi H – Stevinus — Stevinus A — Theophilus B Timocharis – Tycho

Puede enviarlas a los siguientes emails:

sociedadlunarargentina@gmail.com

observacion.lunar.liada@gmail.com

albertoanunziato@yahoo.com.ar

Su colaboración es de inestimable ayuda y será reconocida debidamente en los créditos de los estudios a publicarse.

Alberto Anunziato-Coordinador de la Sección Lunar de la Liga Iberoamericana de Astronomía

Cápsula Espacial Revista Digital

Disfrútela en:

https://capsula-espacial.blogspot.com/

Facebook: Revista Cápsula Espacial

NOSOTROS

Web:

https://sites.google.com/site/slasociedadlunarargentina/

Email:

sociedadlunarargentina@gmail.com

Facebook:

Sociedad Lunar Argentina

SECCIÓN LUNAR DE LA LIGA IBEROAMERICANA DE ASTRONOMÍA

Web:

https://observacionlunar.wordpress.com/

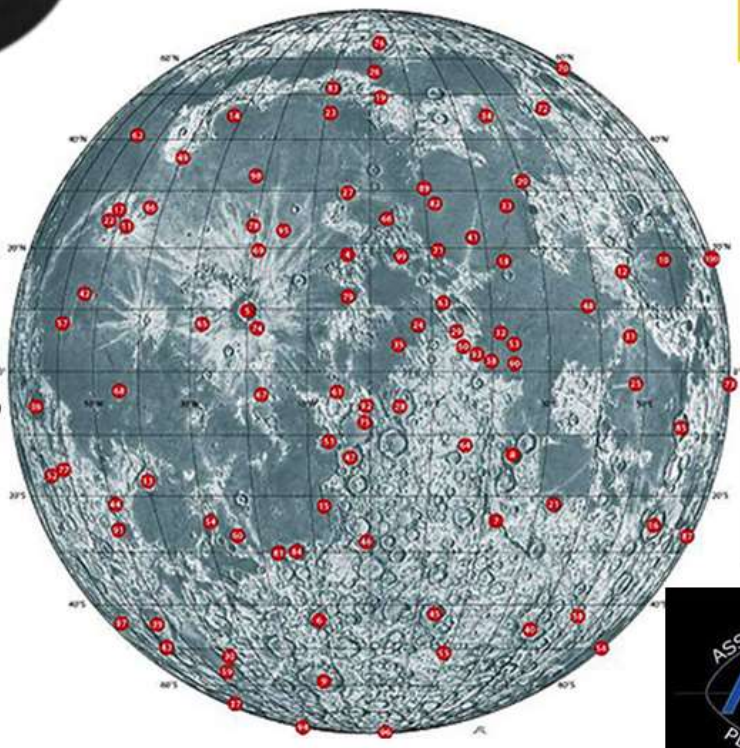
Revista auspiciada por la Liga Iberoamericana de Astronomía

EL MENSAJERO
DE LA LUNA

Sociedad Lunar SLA Argentina

Programa de Observación
The Lunar 100

SAO
Sociedad Astronómica Octante
Montevideo - Uruguay



Sumate!

SLA y **SAO** te invitan a enviar tus Imágenes de los sitios lunares del listado publicado en la página

lunar100.liada.net

Te esperamos!

Auspician

Sección Lunar
LIADA
Semper Observandum
Liga Iberoamericana de Astronomía

ASSOCIATION OF LUNAR & PLANETARY OBSERVERS
ALPO
Founded 1947

EL MENSAJERO
DE LA LUNA